

■S3 群 (脳・知能・人間) － 感性・マルチモーダル情報処理**7 章 運動の分析合成**

(執筆者：栗山 繁，向井智彦) [2009年4月 受領]

■概要■

感性・マルチモーダル情報処理としての運動の分析・合成技術は、スポーツや作業の訓練、伝統舞踊や熟練技の伝承、及び運動に関連するデジタルデータの検索などのシステムを開発する際に重要な基盤となる。運動の分析と合成を行うこれらのシステムは、運動を計測する技術、計測で得られたデジタルデータを数値的に解析する技術、及びデータや解析の結果を可視化する技術から構成される。

運動を3次元計測する技術であるモーションキャプチャ技術は、最初はリハビリなどの医療分野において開発されたが、3次元コンピュータグラフィクス (以後、3DCG) で迫真性のある動きの人物アニメーション映像を制作するのに広く用いられるようになり、その需要の高まりに伴って精度や機能が飛躍的に向上することとなった。更に、計測方式や価格帯の異なる多くの種類のモーションキャプチャ装置が開発され販売されるようになるに従い、医療や映像制作の分野以外の、シミュレーションや教育及び製造分野など、幅広い産業分野での利活用が進んでいる。

医療やスポーツ科学などの分野においては計測した運動データを分析するための諸技術が開発されているが、映像制作などの情報処理分野においては視覚的な観点からの運動の定量化や定性化に関する研究が活発に続けられている。本章では主として、視覚的な観点からの運動データの情報処理に関して解説する。

【本章の構成】

本章では最初に、人間の運動を分析・合成するための数学的なデータ表現 (7-1 節) について述べ、次に 3DCG 人物アニメーション映像を制作するための基盤として研究開発されてきた、人の運動に関する視覚的な認知特性 (7-2 節) と動き表現に対する感性的な指標に基づく運動合成技術 (7-3 節) について述べ、最後に運動データからの統計的な特徴抽出と検索に関する技術 (7-4 節) を解説する。

■感性・マルチモーダル情報処理 - 7章

7-1 運動データの数学的表現

(執筆者：栗山 繁，向井智彦) [2009年4月 受領]

7-1-1 運動の計測データ

人の運動を3次元計測したデータは、計測の対象となる姿勢特徴によりデータ形式が決定する。例えば、複数台のカメラを用いた光学式の計測装置の場合は身体表面に貼られたマーカの位置の3次元座標値が、磁気式や機械式の場合は身体部位の向きや関節の曲げ角度などが時系列のデータとなって取得される。医療分野ではマーカの位置がそのまま姿勢を特徴付けるものとして分析対象となる場合が多いが、関節の回転運動を詳細に分析したり3DCGの技術を用いて姿勢を可視化したりする際には、マーカ位置から各部位の向きを計算して各関節の回転運動を推定する必要がある。そのためには、人体を簡略な骨格モデルに置き換えて、関節を機械的な回転機構をもつ接合部とみなした場合の回転角を数学的に導出する手法が用いられる。

7-1-2 運動姿勢のデータ形式

人の運動は各計測時刻における姿勢情報から構成され、姿勢情報はマーカの位置を記録しているものと、関節の初期位置と曲げ角度を記録しているものに大別される。光学式のモーションキャプチャ装置の出力データではC3Dと呼ばれるマーカの3次元位置の時系列情報を用いた形式が広く用いられている。また、Motion Analysis社が規定した

変換された関節角のデータ形式¹⁾としては、Biovision社が規定したbvh及びbva、Motion Analysis社が規定したhtr、及びAcclaim社が規定したasfとameなどが存在する。いずれの形式も、骨格構造と関節名を記述する部分と、各関節の回転量を計算する部分から構成される。また、3DCGの分野においてはVRMLと呼ばれる3次元仮想空間の記述言語に基づいた、ヒューマノイドアニメーション(<http://www.h-anim.org>)と呼ばれるデータ形式が規定されており、骨格の詳細度の各レベルに対する関節群が指定されている。現在この形式はVRMLのみではなくX3Dと呼ばれるXML言語に基づく3次元空間の記述形式にも拡張されている。更には、3DCGの人物アニメーション映像を制作するためのパッケージソフトウェアに適合するように開発されたFilmbox(fbx)と呼ばれる形式も広く用いられている。この形式は動きに関する情報だけではなく、3DCGに用いる形状や質感の情報も統合的に含んでいる。

7-1-3 関節角度の数学的表現と特徴

3次元空間における関節回転量は3行3列の回転行列で表される。しかし、多数の要素を含む行列表現は回転自由度に対して冗長であり、また各要素が相互に従属関係にあるため編集は容易ではない。そこで、より少数の変数で回転量を表現する数学モデルが利用される。

まず、オイラー角と呼ばれる表現が広く知られている。オイラー角は回転対象に対して局所的に定義された空間直交軸周りの回転角度で構成される三つ組の値で、各軸についての回転行列の乗算によって関節の回転量を計算する。このとき、軸の選択と行列の乗算の順序に

よって様々な回転量を表現できる。一方、大域的に固定した座標系の直交軸周りの回転角度から変換行列を求めることもできるが、この行列はオイラー角で与えられる各軸周りの回転行列を逆順に乗算したものと等価である。オイラー角は直観的な理解が容易な反面、各変数と回転量が非線形な関係にあり、またジンバルロックと呼ばれる計算上の問題を含む。これは、対象の回転中に二つ以上の回転軸が重なり合うことで、回転の自由度が減る特異状態を指す。ジンバルロックが発生すると予期しない動作や過大な回転を生じるため、特異状態を回避するような工夫が必要となる。

一方、多くの実システムにおいて四元数²⁾が採用されている。四元数は一つの実数と三つの虚数で構成され、ジンバルロックを生じない回転の表現や合成が可能であり、球面線形補間と呼ばれる線形補間計算が適用できる。一方、各変数の物理的な意味を直観的に理解しづらく、値を手動で指定するような用途には適さない。

オイラー角や四元数、回転行列は、いずれも回転量の合成に非可換な乗算を用いる。つまり合成結果が乗算順序によって変化するため、一般的な線形演算を適用できない。そこで、四元数を対数空間に写像する指数マップ³⁾が利用される。これは3次元回転の主軸ベクトルに主軸周りの回転角度を乗算した3次元値で、その和によって四元数の積を近似できる。ただし、指数マップはあくまでも近似値であるため、誤差の発生に注意を要する。

7-1-4 姿勢、運動の類似度

運動データを統計処理する場合や合成運動の自然さを評価する際には、複数の人体姿勢や運動の類似度を定量的に評価する必要がある。また、人が知覚する類似性を反映するためには、姿勢の幾何学的な特徴量を評価するのが適当である。そのため、姿勢間の類似度は関節回転量もしくは身体各部位の位置を利用して算出されることが多い。

関節回転量に基づく代表的な手法⁴⁾では、各関節回転量の差分を表す指数マップのノルムを計算し、その二乗和を姿勢の非類似度として算出する。ただし、手首の回転よりも腰の回転がより多くの身体部位を移動させるように、知覚される運動量への影響は関節によって異なる。そのため、視覚上の影響度に応じて各関節回転量に重みを付けることが考えられるが、姿勢によっても影響度が変化するため、最適な重み付け方法は未だ確立していない。一方、身体位置に基づく方法では、全身の位置と方向を正規化したうえで、各関節位置を点群と見なした際の移動(差分)距離の総和を計算する。この正規化には点群間の距離を最小化する技法が用いられ、例えば正規化のための鉛直軸周りの回転角と水平面座標の最適値を計算する方法⁵⁾が提案されている。

運動の類似度は姿勢の類似度の時間総和として算出され、時間長の異なる運動データを比較する際には、動的時間伸縮法⁶⁾などを利用して運動のタイミングを正規化する必要がある。これらの類似度指標は幾何情報のみから算出され、運動の意味を反映していない。例えば、床への着座と椅子の腰掛けは幾何学的な差異は大きいが着座という意味では類似している。今後は運動の意味や環境との相互作用、及び人の知覚特性を反映した類似度指標の確立などが望まれる。

■感性・マルチモーダル情報処理 - 7章

7-2 運動の視覚認知

(執筆者：栗山 繁) [2009年4月 受領]

人の運動に対する視覚認知能力の高さを実証する研究例として、身体に配置された10数個の点光源の動きから人の動作を判別する心理実験⁷⁾が報告されている。また、動きや姿勢の違いを瞬時に判別する能力を対象とする心理実験⁸⁾がある。このように、人は自らの動きに対しては高い感受性を有することを裏付ける研究報告例があるが、運動の認知機構そのものに関しては未だに不明な点が多い。特に、人物アニメーション映像の制作において「運動としての自然さ」の定量化は重要であるが、汎用性のある実用的なモデルは未だに存在しない。

7-2-1 自然な運動の定量化技法

人の動きの自然さを定量化する試みは、ロボティクスやバイオメカニクスの分野で用いられる筋骨格モデルに基づく、動力学的な効率性能を指標化するモデルが提案されている。筋骨格モデルとは人体を骨と筋肉から構成される仮想的な構造物として表現するものであるが、人間の複雑な骨格と全筋肉を詳細に再現すると膨大な計算量を要するので、通常は簡略化された機械的なモデルが用いられる。この簡略モデルでは、人体は関節に相当する部分で回転運動を引き起こすアクチュエータを有する剛体とみなされ、円柱などの基本形状で表される各部位に与えられた質量から逆動力学を計算して、回転アクチュエータに対する力学量を算出する。

バイオメカニクスの分野において、人は動力学的に効率良く運動するという仮定が支持されており、幾何学的⁹⁾、動力学的¹⁰⁾、及び運動指令的¹¹⁾な最小化の規範が提案されている。幾何学的な最小化規範以外は複雑な数値計算を必要とするので、人物アニメーションの分野では簡略化されたモデルが用いられることが多い。例えば、剛体同士の物理的な干渉を考慮しなければならぬアクチュエータのトルク量を計算する代わりに、質量を無視した回転加速度に基づくエネルギーの最小化モデルなどが導入されている。

人の運動の動力学的な自然さに対する認知能力を調査した研究例として、ジャンプする動作の重心軌道を物理法則から外れるように意図的に変形して被験者に判別させる心理実験¹²⁾がある。この研究において、速度の変形に対しては鉛直方向の方が水平方向よりも、また減速の方が加速よりも不自然さの判別が難しいことが示唆されている。この実験結果により、人の運動はその動力学的な状態を観測するだけでは自然さを判定することは困難であるといえる。

7-2-2 身体形状の認知への影響

CG 人物アニメーションで腕部や脚部の長さを非現実的に伸縮させても、その不自然さを容易には判別できないことを示唆する研究¹³⁾が発表されている。この研究では、静止画像の場合には身体部位の長さから2.9%以上の差が無いと相違に気がつかないという結果が得られている。一方、アニメーション映像の場合には、腕部の長さは全長に対する2割程度を変形させても、その部位を注視していない状態では気がつかないことが示唆されている。更に、長さが縮む場合と緩慢に変化する場合、及び伸縮部位が速く動く場合にその変形に気づき難

いという結果が得られている。

モーションキャプチャを用いたアニメーションの制作において、動きを演じた人とCGで表現される人の体形が異なる場合には、末端効果器と呼ばれる手先や足先が把持物体や床から離れてしまう現象が見られる。このような場合は、人体をアームロボットと同様な伸縮しない多関節体としてモデル化して位置を補正するために逆運動学が用いられる。しかし、上述した研究によれば、生じる誤差が少量であれば腕部や脚部を瞬間的に伸縮させて補正しても「見た目」には影響がないといえる。

CG人物を可視化する際の表示方法の違いが、運動の判別能力にどのように影響するかを調査した研究例¹⁴⁾もある。この研究では、人物の骨格を楕円や円柱などの単純形状で表示した場合と、実際の外観に近い表皮データを用いて表示した場合を比較しており、運動の変化や違いは表皮データによる表示を用いた方が敏感に判別されるという結果が得られている。

一方、全身の振る舞いから受ける印象など、人体運動に関わる認知心理学的指標を定量的に評価する際には、体格や衣服、表情などの外見に関わる影響を排除する必要がある。そうした処理はビデオ映像では困難であるが、モーションキャプチャを利用することで複数人の運動を共通の外観モデルで表示できる。例えば、ダンス運動と性差の認知的関係を解析した研究¹⁵⁾では、単純な骨格モデルを利用した可視化により、外見による影響を最小化している。

近年ではCGで再現される人体形状や質感の再現精度が飛躍的に向上し、実際の人間との見た目の類似度合いが高まってきている。これに伴い、「不気味の谷¹⁶⁾」と呼ばれる、仮想的な人物が実際の人間の見た目に近接するに従って生じてくる違和感の存在が議論されており、その認知的な解明¹⁷⁾が今後の課題となっている。

■感性・マルチモーダル情報処理 - 7章

7-3 感性的な指標に基づく運動合成技術

(執筆者：向井智彦) [2009年4月 受領]

映像作品中の人物から受ける印象は、その表情や口調、及び態度のみならず、全身の姿勢や運動の変化によっても演出できる。また、人物の感情や心理状態を強調するためには、実際の人体運動の自然さを追求するのではなく、現実的には不自然な動きを付与する場合もある。更に、こうした誇張表現は実写の場合とアニメーションの場合とでは影響が異なり、その表現手段によって変化させる必要がある。モーションキャプチャデータを用いて制作されるアニメーションに関しては、手作業でデータを編集することによって感性に訴える映像が制作されているが、近年ではキャラクターの思考や感情をパラメータとして与えることで、運動データを自動的に編集する技法が提案されている。

7-3-1 信号处理的アプローチによる運動の誇張表現

3DCG を用いたアニメーション制作には、セルアニメーション特有の表現技法が多用されている。例えば、運動にメリハリをつけるための速度調整や、運動量を意図的に大きくするなどの誇張表現技術があげられる。更には、モーションキャプチャデータを自動的に誇張する技術が、主に信号処理技術を応用して開発されている。例えば、運動データの波形の振幅や位相を編集する技術^{18), 19)}や、周波数成分を操作することで「喜び」や「疲弊」などの感情成分を付与する技術²⁰⁾、及びエッジ強調フィルタを用いて計測した運動データをアニメ調に加工する技術²¹⁾が提案されている。これらの技術は自由度が高く、手作業によって細かな演出を施す用途に適している。

7-3-2 例示データを用いた運動データの変換と合成

運動データの関節角度を直接編集するのではなく、例示データを参照することによりその特徴を反映した運動を合成する技術が提案されている。そのなかでも、普通の歩行運動データを加工することで忍び歩きや行進などの多様な歩様を合成できるような、運動スタイルの編集技術が多数報告されている。例えば、二つの運動スタイルの差異をモデル化した常微分方程式を同定する技術²²⁾や、異なるスタイルの運動データを重み付けて補間することにより中間的なスタイル運動を合成する技術²³⁾が提案されている。これらの技法では、例示データが示す印象や感性的な特徴を運動スタイルの差異として統計的に抽出することにより、運動特徴を数値的に変換して、連続的変数を用いた運動スタイルの操作を実現している。

7-3-3 インタラクティブなジェスチャ運動の合成

様々なユーザ入力に対して CG キャラクターが応答する対話的システムでは、テキストや音声などの出力応答に付随したジェスチャアニメーションが用いられる。また、環境要因などに応じて適応的に出力を変化させる場合は、応答内容に従って話者のジェスチャを自律的に合成する必要がある。スクリプト言語を用いてテキストとジェスチャを対応づけるシステム²⁴⁾や、音声フレーズとジェスチャの特徴点を対応づけるシステム²⁵⁾、及び話者特有のジェスチャを合成する確率モデルを統計解析する技術²⁶⁾などが提案されている。更に、ユーザからの音声入力に対して、聞き手の振る舞いを自動生成する技術²⁷⁾も報告されている。

■感性・マルチモーダル情報処理 - 7章

7-4 認知的指標に基づく運動データの特徴解析と検索

(執筆者：栗山 繁，向井智彦) [2009年4月 受領]

Web 関連技術の進歩により様々なデータが検索の対象としてネット上で配信されるに連れ、デジタル化されたモーションデータを検索対象として扱う方法も提案されてきている。データに「歩く」、「投げる」などのキーワードを付しておけば、テキストデータと同様の検索が可能であるものの、感性的、芸術的な動きには共通解釈が可能なキーワードを付するのが困難となる。一方、キーワードを用いずに姿勢の視覚的特徴で検索するアプローチが提案されているが、検索用の対話インタフェースを効果的に構築するためには、人間が一連の動きを特徴的な姿勢に分解する認知機構を解明する必要がある。

7-4-1 自然さを考慮したデータ圧縮

人体の運動では、関節角度は滑らかな時間変化を示し、また複数の関節が強調して動作している。そうした時間的な相関や関節間の運動関係を解析することにより運動の本質を表す少数の特徴成分を抽出できる。例えば、歩行は四肢各部位が協調した一定の運動パターンを同周期で繰り返すので、腕や足の一部の動きのみから他の部位の動きを推定できる。これらの特徴成分は特異値分解や主成分分析により導出され、運動データを近似するものとしてデータ容量の圧縮に用いられる。しかしながら、関節角度データを圧縮すると角度近似誤差が数値的には小さくとも知覚される身体位置の誤差が大きくなる場合がある。特に足先の接地面など、身体と環境や物体との接触面では誤差が知覚されやすいという報告²⁸⁾がある。そこで、関節角度と手足先の運動軌道データを同時に圧縮することで、知覚誤差を低減しながら圧縮率を向上させる技術²⁹⁾が提案されている。

7-4-2 視覚認知に基づくデータ検索

モーションデータに含まれる各姿勢をその特徴により分類する際に考慮すべき点として「多次元の呪い」がある。すなわち、人の全関節の運動の自由度は 100 近くにも及ぶので、主成分分析などのデータ次元数の低減手法が特徴抽出に用いられている。

近年では姿勢の見た目に基づく「幾何学的特徴」を導入した研究³⁰⁾が発表されている。その手法では、手先や足先の体中心に対する位置関係や肘や膝が曲がり具合などの条件を幾何学的に判定した 30 次元程度の 2 値ベクトルを姿勢の指標値として用い、検索効率を向上させている。また、この幾何学的な特徴に基づいた検索用テンプレートの構成方法³¹⁾も提案されている。

より直観的な検索方法として、データ集合に含まれる全姿勢を自己組織化マップと呼ばれる手法を用いて 2 次元平面上に分布させ、画面上にアイコン表示された姿勢を選択するだけでデータの必要部分を抜き出す GUI システム³²⁾も提案されている。

7-4-3 運動データの要約化とインデクス化

前述した代表姿勢というのは視覚認知的な観点から妥当性を検証する必要があるが、それに関連する技術としてモーションデータの内容を要約化する手法³³⁾が提案されている。この

手法は姿勢データの次数を多次元尺度法で低減した後、運動を低次元空間での曲線軌道として表した場合の幾何的な特徴点に相当するフレームの姿勢を要約として抽出する手法である。

一方、運動データベースの管理を容易にするために、データファイルに様々なインデクスを付与することが考えられる。しかし、小規模なデータに対しては作成者の主観に基づいてファイル名やキーワードを付与すればよいが、大規模なデータに対して一貫したインデクスを付与するためには、運動の特徴に基づいたインデクス生成技術が必要である。これまでも運動の幾何学的な特徴に着目した技術が提案されており、例えば身体部位の骨格の方向³⁴⁾や関節角度、角速度、及び角加速度の離散値³⁵⁾などが利用されている。また、複数の部位の相対位置関係に着目することで、少数の特徴量のみで効果的にインデクス化する技術も報告されている。ただし一般的には、あらゆる動作を区別してインデクス化するためには冗長な表記法が必要となり、それに伴ってデータ量が増加するという問題が生ずる。

一方、運動の内容に応じて特殊化されたインデクスを用いる技術も提案されている。例えば、舞踊動作に特殊化したインデクス化として、舞踊中の基本的なステップ動作や振り付けを楽譜に似たシーケンス図に記すラバン式舞踏譜³⁶⁾が広く知られている。このインデクス化の適用対象は舞踊動作に限られるため一般性には欠けるが、舞踊動作を表現するための必要最小限の要素で構成されているので、熟練者であればこの舞踏譜を見るだけで運動の内容を容易に推測できる。

■参考文献

- 1) A. Menache, "Understanding Motion Capture for Computer Animation and Video Games," Morgan Kaufmann, 2000.
- 2) 金谷一朗, "3D-CG プログラマーのためのクォータニオン入門," 工学社, 2004.
- 3) S. F. Grassia, "Grassia: Practical Parameterization of Rotations Using the Exponential Map," *Graphics Tools*, **3**, 3, pp.29-48, 1998.
- 4) J. Lee, J. Chai, P. S. A. Reitsma, J. K. Hodgins, and N. S. Pollard, "Interactive Control of Avatars Animated with Human Motion Data," *ACM Trans. Graphics*, **21**, 3, pp.491-400, 2002.
- 5) L. Kovar, M. Gleicher, and F. Pighin, "Motion Graphs," *ACM Trans. Graphics*, **21**, 3, pp.473-482, 2002.
- 6) L. Kovar and M. Gleicher, "Automated Extraction and Parameterization of Motions in Large Data Sets," *ACM Trans. Graphics*, **23**, 3, pp.559-568, 2004.
- 7) G. Johansson, "Visual Motion Perception," *Scientific American*, **232**, pp.76-88, 1975.
- 8) C. L. Reed, V. E. Stone, S. Bozova, and J. Tanaka, "The Body-Inversion Effect," *Psychological Science*, **14**, 4, 2003.
- 9) T. Flash and N. Hogan, "The Coordination of Arm Movements: An Experimentally Confirmed Mathematical Model," *J. Neuroscience*, **5**, pp.1688-1703, 1985.
- 10) Y. Uno, M. Kawato, and R. Suzuki, "Formation and Control of Optimal Trajectory in Human Multijoint Arm Movement," *Biological Cybernetics*, **61**, 2, pp.89-101, 1989.
- 11) M. Kawato, "Optimization and Learning in Neural Networks for Formation and Control of Coordinated Movement," *Attention and performance XIV*, MIT Press, pp.821-849, 1993.
- 12) P. S. A. Reitsma and N. S. Pollard, "Perceptual Metrics for Character Animation: Sensitivity to Errors in Ballistic Motion," *ACM Trans. Graphics*, **22**, 3, pp.537-542, 2003.
- 13) J. Harrison, R. A. Rensink, and M. van de Panne, "Obscuring Length Changes during Animated Motion," *ACM Trans. Graphics*, **23**, 3, pp.569-573, 2004.
- 14) J. K. Hodgins, J. F. O'Brien, and J. Tumblin, "Perception of Human Motion with Different Geometric Models," *IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics*, **4**, 4, pp.307-316, 1998.
- 15) W. M. Brown, L. Cronk, K. Grochow, A. Jacobson, K. Liu, and R. Trivers, "Dance Reveals Symmetry

- Especially in Young Men,” *Nature*, **438**, 7071, pp.1148-1150, 2006.
- 16) M. Mori, “The Uncanny Valley,” *Energy*, **7**, 4, pp.33-35, 1970.
 - 17) T. Chaminade, J. Hodgins, and M. Kawato, “Anthropomorphism Influences Perception of Computer-Animated Characters’ Actions,” *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, **2**, pp.206-216, 2007.
 - 18) A. Bruderlin and L. Williams, “Motion Signal Processing,” *SIGGRAPH 95*, pp.97-104, 1995.
 - 19) A. Witkin and Z. Popovi?, “Motion Warping,” *SIGGRAPH 95*, pp.105-108, 1995.
 - 20) M. Unuma, K. Anjo, and R. Takeuchi, “Fourier Principles for Emotion-based Human Figure Animation,” *SIGGRAPH 95*, pp.91-96, 1995.
 - 21) J. Wang, S. M. Drucker, M. Agrawala, and M. F. Cohen, “The Cartoon Animation Filter,” *ACM Trans. Graphics*, **25**, 3, pp.1169-1173, 2006.
 - 22) E. Hsu, K. Pulli, and J. Popovi?, “Style Translation for Human Motion,” *ACM Trans. Graphics*, **24**, 3, pp.1082-1089, 2005.
 - 23) T. Mukai and S. Kuriyama, “Geostatistical Motion Interpolation,” *ACM Trans. Graphics*, **24**, 3, pp.1062-1070, 2005.
 - 24) J. Cassell, H. H. Vilhj?lmsson, and T. Bickmore, “BEAT: the Behavior Expression Animation Toolkit,” *SIGGRAPH 2001*, pp.477-486, 2001.
 - 25) M. Stone, D. DeCarlo, I. Oh, C. Rodriguez, A. Stere, A. Lees, and C. Bregler, “Speaking with Hands: Creating Animated Conversational Characters from Recordings of Human Performance,” *ACM Trans. Graphics*, **23**, 3, pp.506-513, 2004.
 - 26) M. Neff, M. Kipp, I. Albrecht, and H.-P. Seidel, “Gesture Modeling and Animation Based on a Probabilistic Re-Creation of Speaker Style,” *ACM Trans. Graphics*, **27**, 1, Article No.5, 2008.
 - 27) M. Gillies, X. Pan, M. Slater, and J. Shawe-Taylor, “Responsive Listening Behavior,” *Computer Animation and Virtual Worlds*, **19**, 5, pp.579-589, 2008.
 - 28) O. Arikan, “Compression of Motion Capture Database,” *ACM Trans. Graphics*, **25**, 3, pp.890-897, 2006.
 - 29) M. Tournier, X. Wu, N. Courty, E. Arnaud, and L. Reveret, “Motion Compression using Principal Geodesics Analysis,” *Computer Graphics Forum*, **28**, 2, 2009.
 - 30) M. M?ller, T. R?der, and M. Clausen, “Efficient Content - Based Retrieval of Motion Capture Data,” *ACM Trans. Graphics*, **24**, 3, pp.677-685, 2005.
 - 31) M. M?ller and T. R?der, “Motion Templates for Automatic Classification and Retrieval of Motion Capture Data,” In *ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation*, pp.137-146, 2006.
 - 32) Y. Sakamoto, S. Kuriyama, and T. Kaneko, “Motion Map: Image-Based Retrieval and Segmentation of Motion Data,” *2004 ACM SIGGRAPH / Eurographics Symposium on Computer Animation*, pp.259-266, 2004.
 - 33) J. Assa, Y. Caspi, and D. Cohen-Or, “Action Synopsis: Pose Selection and Illustration,” *ACM Trans. Graphics*, **24**, 3, pp.667-676, 2005.
 - 34) C. Y. Chiu, S. P. Chao, M. Y. Wu, S. N. Yang, and H. C. Lin, “Content-based Retrieval for Human Motion Data,” *Visual Communication and Image Representation*, **15**, 3, pp.446-46, 2004.
 - 35) Z. Deng, Q. Gu, and Q. Li, “Perceptually Consistent Example-based Human Motion Retrieval,” *ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games 2009*, pp.191-198, 2009.
 - 36) T. Yu, X. Shen, Q. Li, and W. Geng, “Motion Retrieval based on Movement Notation Language,” *Computer Animation and Virtual Worlds*, **16**, 3-4, pp.273-282, 2005.